

УДК 674.81:62-9

**А.С. Федоренчик** (A.S. Fedorenchik)

(БГТУ, г. Минск, РБ),

**Д.М. Гайдукевич** (D.M. Hajdukevich)

(БГАТУ, г. Минск, РБ)

E-mail для связи с авторами: fedor@bstu.unibel.by, Hajdukevich@tut.by

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ**

### **DETERMINATION OF THE EQUIPMENT PARAMETERS FOR PELLET PRODUCTION**

*По найденным характеристикам  $M_{сопр}$ ,  $R_x$  и  $R_y$  и в соответствии со стандартной методикой расчета фрикционных передач можно определить остальные параметры прессового оборудования, по которым осуществляется подбор и модернизация узлов и деталей для производства гранул.*

*According to the found characteristics, according to a standard method of calculation of friction gears, it is possible to determine other parameters of the press equipment on which selection and modernization of knots and details for production of granules is carried out.*

В настоящее время во всем мире в связи с истощением запасов ископаемых видов топлива ведутся активные исследования по использованию биотоплива. Для отопительных целей одним из перспективных направлений является использование гранулированного биотоплива (пеллет) из отходов деревообрабатывающих и сельскохозяйственных производств, как это происходит в странах Западной Европы, где ежегодно производится и продается до 5 миллионов тонн этого вида топлива.

Поскольку в общем объеме затрат на производство топливных гранул энергозатраты составляют до 20 %, а также с целью выбора оптимальных параметров механизмов, узлов и деталей базового технологического оборудования, нами проведены исследования физико-механических характеристик процесса пеллетообразования.

Пеллеты образуются посредством прессования под давлением сотни атмосфер, предварительно измельченных отходов растительного происхождения в многочисленные отверстия (фильеры) в корпусе матрицы, где, собственно, и происходит процесс агрегатирования. Поэтому в первую очередь при разработке оборудования необходимо учесть условия, обеспечивающие процесс образования пеллет, определить параметры процесса, а затем обеспечить эти параметры с помощью соответствующего оборудования. Для достижения этой цели используются результаты экспериментов по прессованию сыпучего материала в недеформируемой цилиндрической капсуле. В результате определяется уравнение состояния деформируемой среды, выражающее собой зависимость давления прессования  $P_{np}$  от степени сжатия  $\lambda$ , характеризующей изменения первоначального объема недеформированной среды. Предельные значения  $\lambda_{np}$  изменяются в широких пределах от  $\lambda_{np} = 1,3$  (для торфа) до  $\lambda_{np} = 7$  (для древесных опилок).

Уравнение состояния деформируемой среды используется далее для расчета энергии формообразования единицы объема исходного материала, необходимой для последующего энергетического анализа и расчета параметров прессового оборудования. Для оценки верхнего значения энергии формообразования  $E(\lambda)$  связь между давлением и степенью сжатия аппроксимировалась линейной зависимостью, тогда

$$E(\lambda) = \frac{P_{\text{пр}}}{\lambda_{\text{пр}}} \ln \lambda, \quad (1)$$

Для определения вклада энергии [формуле (1)], соответствующей работе сил трения о стенки цилиндрического отверстия фильеры, принималось, что сила давления, передающаяся на боковую поверхность, пропорциональна величине давления в продольном направлении (с коэффициентом пропорциональности  $\mu$  ( $\mu$ -аналог коэффициента Пуассона)). В указанном приближении приходим к расчетной формуле, характеризующей эффективность прессования через коэффициент полезного действия

$$\eta = 1 - \frac{4\sigma(\lambda_{\text{пр}} - 1)\mu f}{\lambda_{\text{пр}} \ln \lambda_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

где  $f$  – коэффициент трения;

$\sigma = L / D$  – соответствующий параметр формы отверстия фильеры (рис. 1).

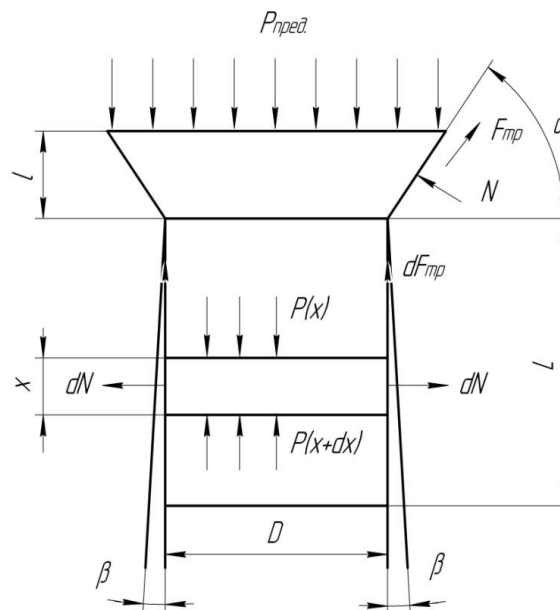


Рис. 1. Основные параметры и схема действия сил в фильере

Формулы (1–5) используются для определения параметров фильерной платформы (матрицы), на которой осуществляется прессование с помощью катка, вращающегося со скоростью  $\omega$  и имеющего скорость центра  $V_c$  (рис. 2).

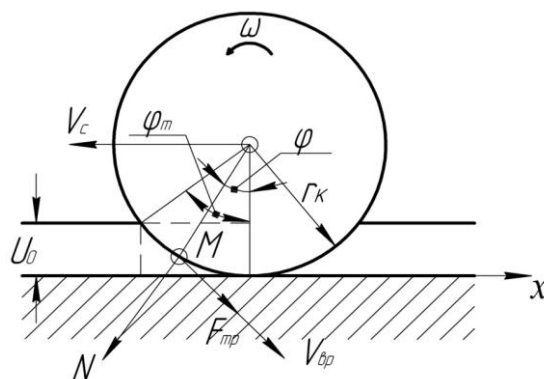


Рис. 2. Расчетная схема для определения параметров фильерной матрицы

Для определения распределения давления по глубине  $x$  в самой фильере рассматривалось равновесие элементарного слоя между двумя текущими сечениями  $x$  и  $x + dx$ , на которые действуют нормальные давления  $P(x)$  и  $P(x + dx)$ , а равновесие достигается за счет сил трения, возникающих на боковой поверхности площадки  $P D dx$ . В результате из уравнения баланса приходим к распределению:

$$P(x) = P_{\text{пр}} l x P \left( \frac{4f\mu}{D} x \right), \quad (3)$$

а затем – к критерию отсутствия заклинивания, при выполнении которого спрессованный материал будет выдавливаться из фильеры. Это условие имеет вид:

$$\sigma > \frac{4f\mu}{\ln P_{\text{пр}}'}, \quad (4)$$

где  $P_{\text{пр}}'$  – отношение предельного давления к атмосферному.

Углы  $\alpha$  и  $\beta$  (рис. 2) также должны удовлетворять условию

$$\text{tg}\beta \cong \frac{P_{\text{пр}}\mu}{2E}, \quad \alpha > \beta, \quad (5)$$

где  $\mu$  и  $E$  – модули Пуассона и Юнга для спрессованного материала пеллеты;  
 $\rho$  – аналог угла трения\*.

Условие (5) обеспечивает исключение разрушения (растрескивания) спрессованной пеллеты при выходе из фильеры и самоторможение сыпучей среды в приемном гнезде (параметр 1, в котором определяют соответствие объема приемной (конической) и цилиндрической частей фильеры).

В первую очередь параметры должны удовлетворять требованию захвата материала в зону прессования, т. е. в область контакта катка и матрицы. Для выполнения этого требования необходимо, чтобы суммарная сила, действующая на частицу измельченного сырья, контактирующую с катком, была направлена в зону прессования. Рассматривая предложенный случай  $\varphi = \varphi m$  (рис. 2) с учетом  $F_{\text{тр}} = fN$ , приходим к условию:

$$u_o < r_k \left( 1 - \sqrt{\frac{1}{1 + f^2}} \right), \quad (6)$$

где  $u_o$  – высота слоя сыпучего материала, расположенного на матрице, которому должны удовлетворять параметры  $u_o$  и  $r_k$  (для осуществления процесса захвата материала в зону прессования).

Последнее требование можно усилить кинематическим соотношением:

$$\omega(r_k - u_o) \geq V_c, \quad (7)$$

обеспечивающим режим ускоренной подачи материала в зону прессования и увеличивающим производительность процесса.

\* Иванов М.Н. Детали машин. М: Высшая школа, 1991. 383 с.

Для определения параметров проектируемого процесса и, в первую очередь, требуемой мощности, необходимо определить силу и мощности производственных сопротивлений, приложенных к его исполнительному органу. Для определения последних использовалась расчетная схема, представленная на рисунке 3.

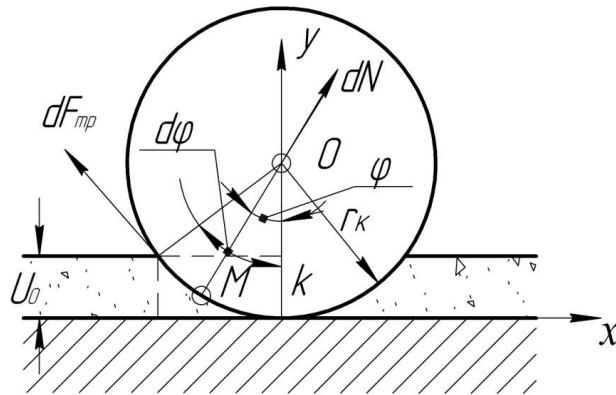


Рис. 3. Расчетная схема для определения силы и мощности, затрачиваемых на процесс прессования

Силу давления  $dN$ , действующую на элемент площади поверхности катка, расположенный под углом  $\varphi$  и опирающийся на угол  $d\varphi$  определим по величине давления, возникающего в избранной зоне.

В свою очередь величину давления находим по степени сжатия в окрестности выделенного элемента:

$$\lambda = \frac{u}{u_0 + \Delta}, \quad \Delta = \frac{u_0}{\lambda_{\text{пр}}}, \quad (8)$$

Определив по значению  $dN$  величину  $dF_{\text{пр}} = fN$ . Находим итоговое выражение сил трения для момента  $M_{\text{сопр}}$  относительно центра катка:

$$M_{\text{сопр}} = \frac{f P_{\text{пр}} u_0 r_k}{\lambda_{\text{пр}}} I, \quad (9)$$

$$\text{где } I = \int_0^{\varphi_M} \frac{d\varphi}{1 + \delta - \cos \varphi}; \quad \varphi_M = \arccos \frac{r_k - u_0}{r_k}; \quad \delta = \frac{\Delta}{r_k}. \quad (10)$$

Суммируя силы  $dF_{\text{пр}}$  и  $dN$ , находим выражения для проекций равнодействующей на координатные оси X и Y:

$$R_x = \frac{P_{\text{пр}} \beta u_0}{\lambda_{\text{пр}}} [I - f \ln(1 - \cos \varphi_M)], \quad (11)$$

$$R_y = \frac{P_{\text{пр}} \beta u_0}{\lambda_{\text{пр}}} [\ln(1 - \cos \varphi_M) - f I]. \quad (12)$$

По найденным характеристикам  $M_{\text{сопр}}$ ,  $R_x$  и  $R_y$  (в соответствии со стандартной методикой расчета фрикционных передач) можно определить остальные параметры прессового оборудования, по которым осуществляется подбор и модернизация узлов и деталей для производства гранул.